



# Conception d'une commande robuste pour une ressource de production : approche flux-qualité

Achraf Jabeur Telmoudi, Lotfi Nabli, Radhi M'Hiri

## ► To cite this version:

Achraf Jabeur Telmoudi, Lotfi Nabli, Radhi M'Hiri. Conception d'une commande robuste pour une ressource de production : approche flux-qualité. GEI'2008, Mar 2008, Tunisie. pp.CD-ROM. hal-00317683

**HAL Id: hal-00317683**

**<https://hal.science/hal-00317683>**

Submitted on 4 Sep 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Conception d'une commande robuste pour une ressource de production : approche flux-qualité

Achraf Jabeur Telmoudi<sup>1</sup>, Lotfi Nabli<sup>2</sup>, Radhi M'hiri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SEPE, Ecole Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis -5, Avenue Taha Hussein, Montfleury 1008 Tunis- Tunisie.

<sup>2</sup>ASTI, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir- Rue Ibn Eljazar, 5019 Monastir- Tunisie.

<sup>3</sup>LACS- Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis. Campus universitaire, BP 37 Le belvédère Tunis 1002- Tunisie.

**Résumé.** Nous nous intéressons, dans cet article, à la robustesse des ressources de production des Systèmes Flexibles de Production Manufacturière. Une méthodologie de construction d'une commande robuste générant les marges de robustesse passive et active de flux et de qualité de produit au sein d'une même ressource est élaborée. La redondance de la robustesse des paramètres élémentaires de flux et de qualité entre passive et active est exploitée. Les réseaux de Petri à Intervalles sont utilisés pour la modélisation. Dans ce but, un ensemble de lemmes sont engagés et affirmés par un exemple applicatif.

**Mots clés :** Modélisation, Flux, qualité, Redondance, Réseaux de Petri à Intervalles, Robustesse.

## 1 Introduction

Le produit est toujours sujet à deux contraintes intrinsèques et corrélées imposées par le marché qui sont la quantité et la qualité. Les contraintes prescrites à ces deux critères sont indispensablement imposées à des études préliminaires étendues et précises afin d'établir des lois de commande robuste permettant la conservation des aptitudes de système et le bénéfice de l'entreprise.

En effet, La problématique de conception de commande robuste dédiée aux systèmes à événements discrets est fréquemment rencontrée dans la littérature. Les travaux qui se sont intéressés à l'analyse et la conception des commandes robustes sont nombreux. A ce propos, nous mentionnons les travaux de Collart Dutilleul [7], qui ont proposé une méthode de commande robuste face à des contraintes de temps de séjour dont dépend directement des intervalles de conformité des paramètres qualité de produit. Aussi, nous citons les travaux de bonhomme [1], dans lesquels il a imposé la problématique de la robustesse inter-produits afin d'optimiser le temps de séjour des divers produits fabriqués au même atelier. En contrepartie, de ces études qui se sont occupées des contraintes temporelles, dans son travail de thèse Dhouibi [10] a étendu une méthode contribuant à une commande robuste et réactive des systèmes de

production manufacturière à contraintes non temporelles afin d'agir face à des perturbations de type dérives de qualité.

L'outil de modélisation le plus fréquenté pour étudier les systèmes de production à contraintes temporelles est les Réseaux de Petri P-temporels [1], [12], [13], [14]. Cet outil paraît inapte à modéliser le problème de robustesse des systèmes de production à contraintes non temporelles. Les RdP à intervalles développés par Collart [6] présentent un complément aux réseaux de Petri P-temporels. Ils permettent la modélisation des contraintes sur un paramètre quelconque dans un processus manufacturier. En effet, cet outil de modélisation est considéré comme une voie importante de recherche pour la détermination et l'évaluation de la robustesse [6], [11].

Notre intérêt, dans ce papier, sera concentré sur la conception d'une loi de commande robuste capable de gérer et de mettre en interaction les marges de robustesse passive et active de flux et de qualité au sein d'une même ressource.

Nous introduisons, dans un premier lieu, des notions de base sur la robustesse des systèmes de production manufacturière ainsi que l'outil de modélisation : Les réseaux de Petri à Intervalles. Nous présentons, par la suite, notre approche de construction d'une commande robuste bicritères.

## 2 Notions de base sur la robustesse d'une commande

### 2.1 Robustesse d'une commande

La mesure de la robustesse d'un Système de Production (SP) se définit par rapport à deux paramètres principaux [7] : le type de variations et la définition des qualités requises pour la sortie du système.

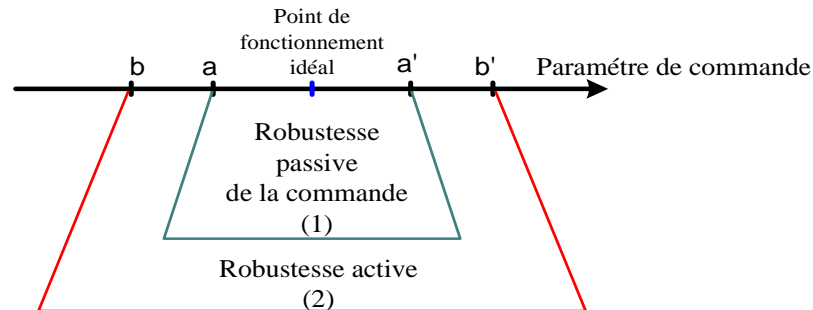
**Définition 1 :** *Pour un système manufacturier, La robustesse est définie comme son aptitude à conserver ses propriétés spécifiées face à des perturbations prévues ou imprévues [8].*

**Définition 2 :** *la robustesse passive répond au cas où aucune modification dans la conduite n'est nécessaire pour que les propriétés spécifiées soient conservées en présence de variations [8].*

**Définition 3 :** *la Robustesse active correspond au cas où les propriétés spécifiées peuvent être maintenues, mais au prix d'un calcul total ou partiel de la conduite [8].*

Le respect de la gamme est généralement le critère de sortie pour un système de production manufacturière. Divers critères comme le nombre d'en-cours, la régularité de sortie des produits ou le temps de séjour dans l'atelier peuvent enrichir la sortie du système. Pour chacun de ces différents objectifs, nous pouvons définir une commande donnée qui sera plus ou moins robuste par rapport à telle perturbation (Fig. 1).

Les marges  $a$  et  $b$  représentent les degrés de liberté du procédé physique. Chaque paramètre de commande de type quantitative ou qualitative sortant de ces limites entraîne une violation du cahier des charges.



**Fig. 1.** Marges de robustesses active et passive

(1) les propriétés spécifiées sont garanties sans aucun changement de la commande. Les valeurs  $a$  et  $a'$  correspondent à la robustesse passive.

(2) une commande doit être inventoriée; les marges dynamiques sont modifiées mais le séquençement demeure le même. Les valeurs  $b$  et  $b'$  correspondent à la robustesse active.

## 2.2 Réseaux de Petri à Intervalles pour la modélisation d'une commande à contraintes

L'exploitation de la modélisation est adaptée comme une voie indispensable de recherche pour la détermination de la robustesse des systèmes de production. L'étude des ateliers à contraintes temporelles ou non temporelles contient une problématique singulière qui survient lorsqu'on est en présence d'un mécanisme de synchronisation. Vu que les automates, par définition, ne représentent pas de manière explicite les structures de synchronisation, nous choisissons les Réseaux de Petri comme outil de modélisation. En effet, cet outil est reconnu comme étant un outil performant de modélisation des synchronisations, des parallélismes, des conflits et des partages de ressources.

Nous distinguons deux classes de réseaux de Petri convenus pour modéliser la commande à contraintes :

- Les RdP P-temporels pour l'étude des ateliers à contraintes temporelles : Les fondements théoriques des RdP P-temporels, ont été élaborés par Khansa dans sa thèse [14]. Il a été montré qu'ils représentent un formalisme puissant et reconnu pour la modélisation de l'obligation de respect des temps de séjour (synchronisation sous obligation) [13] , [14].
- Les RdP à Intervalles pour l'étude des ateliers à contraintes non temporelles : Les RdP à intervalles ont été introduits par Collart [6] pour amplifier le champ d'application des RdP P-temporels à travers l'abstraction des notions de base sur le paramètre accordées aux places. En effet, la même définition mathématique de l'outil est presque héritée. Sauf que, la restriction des paramètres associés aux places aux rationnels positifs ne se justifie plus comme un principe de base pour toutes grandeurs. Par exemple, elle n'a plus de raison d'être pour une variation d'une température ou d'une position.

Nous pouvons suggérer que nous disposons, vu que les RdP p-temporels peuvent être définis comme une sous classe des RdP à intervalles, d'un unique outil de modélisation qui est RdP à intervalles.

La définition des réseaux de Petri à Intervalle est définie dans les lignes qui suivent.

**Définition 5 [10] :**

Un RdP à intervalles est un tuple  $\langle R, m, IS, D, Val, Val_0, X, X_0 \rangle$  dans lequel :

- $R$  est un RdP non marqué,
- $m$  une application qui attribue un marquage au réseau telle que :  
Soit  $Va$  un ensemble de variables à valeur dans  $Q$ .  
Soit  $V$  un ensemble non vide de formules utilisant des variables de  $Va$ .  
Soit  $\mu V$  un multiensemble défini sur l'ensemble  $V$ .

$m : P \rightarrow \mu V$

$p \in P \rightarrow m(p)$ , où  $m(p)$  est le marquage d'une place.

On note  $M$  l'application qui à chaque place associe le cardinal de son marquage.

$M : P \rightarrow IN$

$p \rightarrow \text{card}(m(p))$

- $IS : P \rightarrow Q \cup \{-\infty, +\infty\} \times Q \cup \{-\infty, +\infty\}$  définit les intervalles alloués aux places du réseau.

$p_i \rightarrow IS_i = [a_i, b_i]$  avec  $0 \leq a_i \leq b_i$

- $D$  est une application qui associe à chaque couple (place, marque) une valeur rationnelle  $q$  qui doit être inférieure ou égale à  $b_i$ . Cette grandeur correspond à la modification de la valeur associée au jeton qui est intervenue sur la place  $p_i$ .

$D : m(p) \times P \rightarrow Va$

$\forall i, 1 \leq i \leq n, n = \text{Card}(P)$

Soit  $k$  un jeton,  $k \in m(p_i)$ ,

$k \rightarrow q_i \mid a_i \leq q_i \leq b_i$ ,

Où  $a_i, b_i$  sont les valeurs rationnelles fixées par  $IS$ .

- $X$  est une application qui assigne à chaque variable une valeur.

$X : Va \rightarrow Q$

$va \rightarrow u \in Q$

En fixant une valeur à chaque variable,  $X$  fixe les  $q_i$ .

- $X_0$  définit les valeurs initiales des variables.
- $Val$  associe à chaque jeton une formule à valeur dans  $Q$  dont la signification physique est volontairement non définie.

$Val$  est une application de l'ensemble des marques  $m(P)$  dans  $V$  :

$m(P) \rightarrow V$

$(k \in m(p)) \rightarrow v \in V$ , où  $k$  est une marque.

- $Val_0$  définit les formules initiales associées aux jetons

Une marque  $k$  dans la place  $p_i$  participe à la validation de ses transitions de sortie si et seulement si  $q_i(k)$  a acquis la valeur minimale  $a_i$  de cette place. Elle doit quitter la place  $p_i$ , au plus tard quand  $q_i(k)$  atteint la valeur maximale  $b_i$ . Si non, la marque devient morte.

Normalement, le franchissement d'une transition, provoque la génération des jetons dans les places de sorties et leurs variables associées sont égales à :  $Val(k) + q_i(k)$ .

**Définition 6[10] :**

L'état est défini par un quadruplet  $E = \langle m, D, Val, X \rangle$  où :

- $m$  affecte un marquage au réseau,
- $D$  et  $X$  s'associent pour assigner à chaque marque  $k$  dans la place  $p_i$  un nombre rationnel  $q_i(k)$ .

Le  $q_i(k)$  associé à une marque  $k$  dans la place  $p_i$  doit être inférieur ou égal à  $b_i$  où  $[a_i, b_i]$  est l'intervalle statique associé à la place  $p_i$ . La marque  $k$  dans la place  $p_i$  peut participer à la validation de ses transitions de sortie quand sa valeur est supérieure ou égale à  $a_i$ . Elle meurt quand sa valeur associée devient supérieure à  $b_i$ .

$Val$  associe une formule utilisant des variables rationnelles à chaque jeton. La valeur effective des ces variables rentre dans la définition de l'état (c'est  $X$  qui les fixe indirectement).

Pour plus de détails sur cet outil de modélisation le lecteur pourra consulter les références : [6], [9], [10].

### 3 Conception d'une loi de commande robuste bicritères

Dans ce paragraphe nous présentons notre méthodologie de conception d'une loi de commande robuste bicritères (qualité-flux) d'une seule ressource.

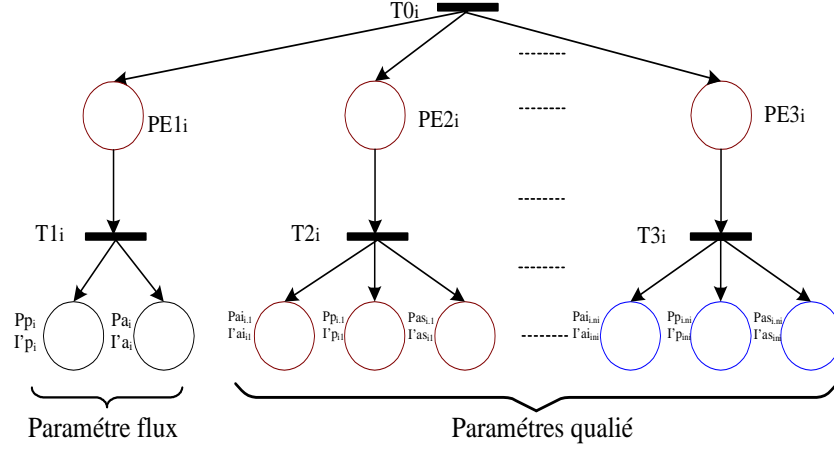
Considérons un système de production manufacturière  $S$  constitué de  $N$  ressources de transformation de matière. Chaque ressource est caractérisée par le temps de production élémentaire ( $T_{m_i}$ ); avec  $i \in \mathbb{N}$  et  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ . A la sortie de chaque ressource,  $n_i$  paramètres qualité seront mesurés. Nous définissons l'intervalle de temps  $I_{p_i} = [a_{p_i}, b_{p_i}]$  (respectivement  $I_{a_i} = [b_{p_i}, b_{a_i}]$ ) comme la marge de robustesse passive (respectivement de robustesse active) pour relative au temps de production élémentaire de la ressource  $R_i$ ; avec  $a_{p_i} \geq a_{a_i}$  et  $b_{p_i} \leq b_{a_i}$ .

De même, nous attribuons l'intervalle  $I_{p_{ij}} = [a_{p_{ij}}, b_{p_{ij}}]$  (respectivement  $I_{a_{ij}} = [a_{a_{ij}}, a_{p_{ij}}]$  et  $I_{a_{ij}} = [b_{p_{ij}}, b_{a_{ij}}]$ ) comme la marge de robustesse passive (respectivement de robustesse active) de la variable  $V_{ij}$ ; où,  $V_{ij}$  est la variable explicative présentant le  $j^{\text{ème}}$  paramètre qualité de la  $i^{\text{ème}}$  ressource de  $S$ . avec  $a_{p_{ij}} \geq a_{a_{ij}}$  et  $b_{p_{ij}} \leq b_{a_{ij}}$ ;  $j \in \mathbb{N}$  et  $j \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ .

**Hypothèse 1 :**  $\forall i$  et  $j$ ,  $V_{ij}(t)$  est croissante non définie.

Pour qu'un système soit robuste, il faut que chaque ressource conserve ces propriétés spécifiées de flux et de qualité (temporelles et non-temporelles). En effet, nous tendons, par la suite, à établir une modélisation des contraintes de robustesse bicritères d'une seule ressource.

Le squelette du modèle est formé d'une transition d'entrée suivie de  $n_i+1$  places d'entrées. La première est suivie d'une structure de parallélisme remembrant deux places modélisant les marges de robustesse passive et active temporelle. pour les autres elles sont assidues chacune par une structure de parallélisme comprenant trois places indiquant chacune respectivement la marge de robustesse active inférieure, la marge de robustesse passive et la marge de la robustesse active supérieure de chaque variable explicative  $j$  de la ressource  $i$  de Système (fig. 2).



**Fig. 2.** Éléments d'une structure de parallélisme de modèle flux-qualité  
Soit  $S^{\circ}p(n)$  est l'instant du  $n^{\text{ième}}$  tir de  $^{\circ}p$  et  $Sp^{\circ}(n)$  l'instant du  $n^{\text{ième}}$  franchissement de  $p^{\circ}$ .

**Lemme 1 :** Une ressource  $R_i$  est robuste passivement si et seulement si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

Condition 1 : à  $t-\varepsilon$ ,  $t=\min \{ SPp^{\circ}_{i,j}(n) \mid j \in \{1, 2, \dots, n_i\} \}$ , les places modélisant la robustesse passive de  $R_i$  sont toutes marquées.

$$\left. \begin{array}{l} \text{card}(m(Pp_i)) = 1 \\ \forall j, \text{card}(m(Pp_{i,j})) = 1 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{card}(m(Pp_i)) + \sum_{j=1}^{n_i} \text{card}(m(Pp_{i,j})) = n_i + 1 \quad (1)$$

Où :  $\varepsilon$  est réel positif négligeable par rapport à  $t$  ;  $\varepsilon \ll t$

Condition 2 : à  $t=SPp^{\circ}(n) \in ]a_{pi}, b_{pi}]$ , les transitions de sorties relatives aux places modélisant la robustesse passive sont franchies.

$$\text{Avec : } \forall j, SPp^{\circ}_i(n) \geq SPp^{\circ}_{i,j}(n) \quad (2)$$

Preuve :

Les jetons séjournés dans les places modélisent réellement l'état temporel et qualitatif d'un seul produit. Ceci implique qu'un jeton ne peut être passé pour modéliser l'état de produit dans une autre ressource que si chaque structure de parallélisme contient au moins un jeton (chaque place ne peut comporter qu'un seul jeton).

D'autre part, tant que les marges de robustesse passive de toutes les variables sont choisies au départ sous des contraintes globales traduisant la robustesse passive de chaque ressource. Une ressource ne peut être robuste passivement que si est seulement si les marges de robustesse passive de toutes les variables sont respectées.

La définition 2 est applicable.

**Lemme 2 :** Soit une ressource  $R_i$  de  $S$ . Si (au moins une des marges de robustesse passive des variables qualitatives ou temporelles n'était pas respectée) alors ( $R_i$  est robuste activement)

Preuve :

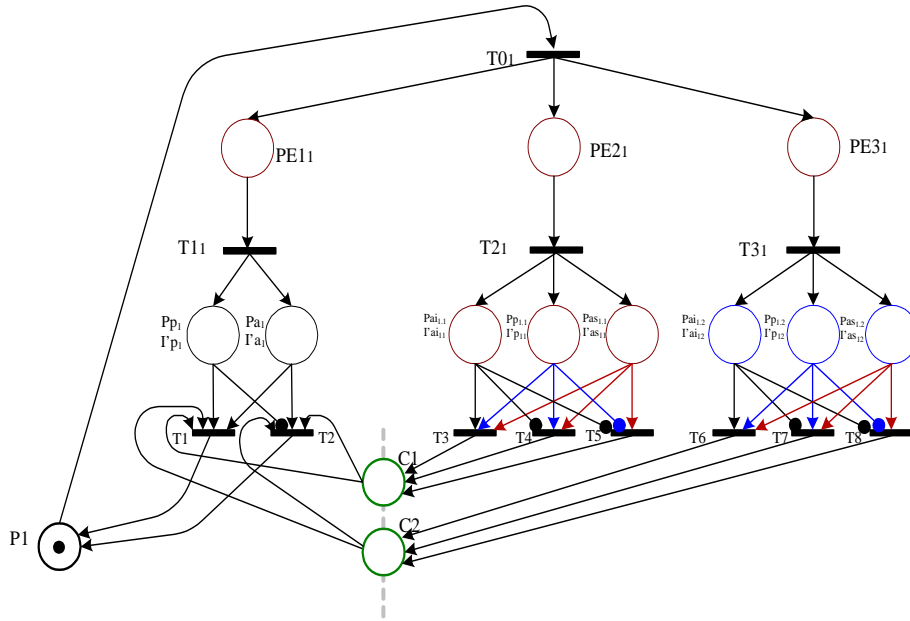
Si une seule marge de robustesse passive n'était pas respectée (la variable respecte alors la marge de robustesse active). Les propriétés spécifiées de  $R_i$  ne pourraient être maintenues qu'au prix d'un calcul total ou partiel de la conduite.

La définition 3 est applicable.

Dans ce qui suit nous présentons un exemple applicatif de ce théorème. En effet une modélisation, par RdP à Intervalles, traduisant les notions de lemme 1 et de lemme 2 sera présentée.

Soit une ressource  $R_1$  d'un système de production  $S$ .  $R_1$  est caractérisée par la variable temporelle, qui présente en soit le temps de production élémentaire  $T_{m_1}$ , et deux variables explicatives qualitatives  $V_{1,1}$  et  $V_{1,2}$ . Nous illustrons, par la figure (Fig.3), une loi de commande robuste bicritères (flux-qualité) de la ressource  $R_1$ .

**Hypothèse 2 :** nous supposons que pour chaque structure de parallélisme relative à une variable qualitative explicative, une des transitions de sortie est franchissable pour la  $n^{ème}$  fois avant ou à la date à  $t=SPp_i(n)$ .



**Fig. 3.** Modèle d'une loi de commande robuste bicritères (flux-qualité) de la ressource  $R_1$

Où :

C1 : Place d'échange d'informations, elle présente un canal de communication entre les places modélisant  $V_{1,1}$  et celles spécifiant l'aspect temporel de  $R_1$ .

C2 : Place d'échange d'informations, elle présente un canal de communication entre les places modélisant  $V_{1,2}$  et celles spécifiant l'aspect temporel de  $R_2$ .

P1 : places modélisant la disponibilité de  $R_1$ .

**Description d'évolution du modèle**

Par le tableau (Tab. 1) nous représentons les différents cas d'évolution de ce modèle.



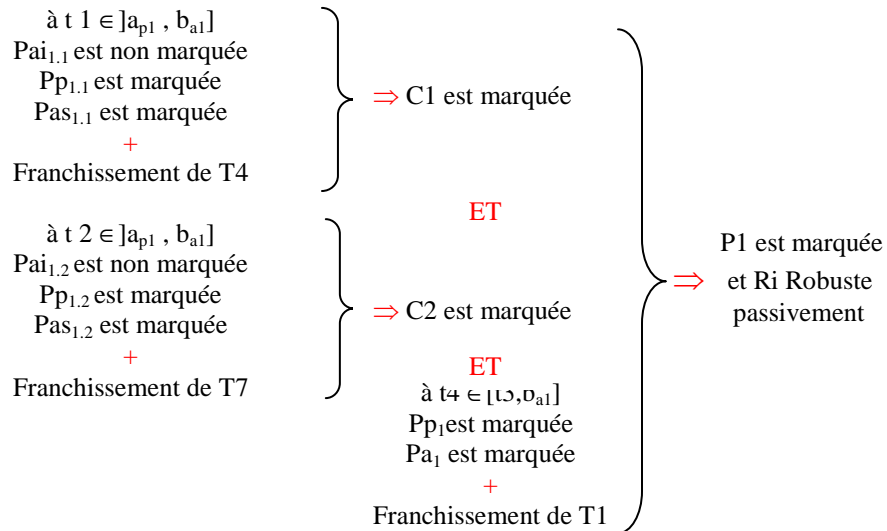
À	$t \in ]a_{p1}, b_{a1}]$				$t \in ]a_{p1}, b_{a1}]$				$t3 \in ]_{\max\{t1,t2\}, b_{a1}]$		$t4 \in [t3, b_{a1}]$				
Cas	Pai <sub>1,1</sub>	Pp <sub>1,1</sub>	Pas <sub>1,1</sub>	T.F	Pai <sub>1,2</sub>	Pp <sub>1,2</sub>	Pas <sub>1,2</sub>	T.F	C1	C2	Pp <sub>1</sub>	Pp <sub>2</sub>	T.F	P1	R
1	1	1	1	T3	1	1	1	T6	1	1	1	1	T1	1	A
2	1	1	1	T3	0	1	1	T6	1	1	1	1	T1	1	A
3	1	1	1	T3	0	0	1	T6	1	1	1	1	T1	1	A
4	0	1	1	T4	1	1	1	T7	1	1	1	1	T1	1	A
5	0	1	1	T4	0	1	1	T7	1	1	1	1	T1	1	P
6	0	1	1	T4	0	0	1	T7	1	1	1	1	T1	1	A
7	0	0	1	T5	1	1	1	T8	1	1	1	1	T1	1	A
8	0	0	1	T5	0	1	1	T8	1	1	1	1	T1	1	A
9	0	0	1	T5	0	0	1	T8	1	1	1	1	T1	1	A
10	1	1	1	T3	1	1	1	T6	1	1	0	1	T2	1	A
11	1	1	1	T3	0	1	1	T6	1	1	0	1	T2	1	A
12	1	1	1	T3	0	0	1	T6	1	1	0	1	T2	1	A
13	0	1	1	T4	1	1	1	T7	1	1	0	1	T2	1	A
14	0	1	1	T4	0	1	1	T7	1	1	0	1	T2	1	A
15	0	1	1	T4	0	0	1	T7	1	1	0	1	T2	1	A
16	0	0	1	T5	1	1	1	T8	1	1	0	1	T2	1	A
17	0	0	1	T5	0	1	1	T8	1	1	0	1	T2	1	A
18	0	0	1	T5	0	0	1	T8	1	1	0	1	T2	1	A

**Tab. 1.** Évolution du modèle de la figure (Fig. 3)

Où : R désigne la robustesse de ressource et TF désigne la transition franchie.

On lit le tableau de la façon suivante :

Pour le cas n°5,



## 4 Conclusion

Dans ce papier, une méthodologie de conception et de modélisation des lois de commande est adoptée. Nous avons modélisé, en exploitant les RdP à intervalles qui présentent une abstraction fonctionnelle des RdP p-temporels, des contraintes soumises sur des paramètres flux et qualité tout en intégrant les marges de la robustesse passive et active. Le but est de contenter les cotés qualitatif et quantitatif du besoin de marché.

Nous prospectons par cette proposition à l'évaluation de la robustesse des systèmes de production manufacturière par la surveillance des paramètres de la loi de commande. Nous tendons par la répartition des marges de la robustesse passive et active à la définition des seuils de détection.

## References

1. Bonhomme, P., Aygalinc, S., Calvez, S. "Using Robustness Properties for Multi-Products Processing". IFAC/IFIP/IEEE, 2nd Conférence on Management and Control of Production and Logistics, MCPL'2000, 5-8 July 2000, Grenoble, FRANCE.
2. Bonhomme, P. "Control of time critical systems using partial order", IMAC'05, Paris, France, Juillet 2005.
3. Bonhomme, P. "Control and performances evaluation of time dependent systems using an enumerative approach", IEEE International Conference on Control Applications, CCA '06. Paris, France, Juillet 2006.
4. Boufaied, A., Subias, A., et Combacau, M. "Distributed Time Constraints Verification Modelled With Time Petri Nets", 17th IMACS Word Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation, Paris, CD ROM, Juillet 2005.
5. Chetouane, F., Collart Dutilleul, S., Denat, J. P. "Modeling and Analysis of Time Constraints Using P-Time Petri Nets for a Multi-Hoist Electroplating Line", 3rd Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'2004), Santiago, pp. 279–284, Novembre 2004.
6. Collart Dutilleul S., Dhouibi, H., Craye, E. "Internal Robustness of Discret Event System with internal constraints in repetitive functioning mode". ACS'2003 conference, Miedzyzdroje, Poland.
7. Collart Dutilleul S., "Commande Robuste d'Ateliers à Contraintes de Temps de Séjour : Application à la Galvanoplastie". Thèse de Doctorat, Université de Savoie, décembre 1997.
8. ARTEMIS-IMAG, ERIHST, LAG, LAMII-CESALP <<CORINE>>, "COnduite Robuste et INtelligente dans les Entreprises manufacturières", Rapport technique, Mai
9. Dhouibi H., Collart Dutilleul, S., E.Craye., Nabli, L. "Computing Intervals of Intervals Constrained Petri Net: a tobacco manufacturing application", IMACS 05 conference, Paris, juillet 05.
10. Dhouibi H., "Utilisation des réseaux de pétri à intervalles pour la régulation d'une qualité : application à une manufacture de tabac". Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Lille, Décembre 2005.
11. Holloway, L. E., Krogh, B. H. "Synthesis of feedback control logic for a class of controlled Petri nets", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 35, n° 5, pp.514–523, Mai 1990.
12. Jerbi, N., Collart Dutilleul, S., Craye, E., Benrejeb, M. "Time Disturbances and Filtering of Sensors Signals in Tolerant Multi-product Job-shops with Time Constraints", International Journal of Computers, Communications & control, Vol. I, n° 4, pp. 61–72, 2006.

13. Khansa, W. Aygalinc, P., Denat, J. P. "Structural analysis of P-Time Petri Nets", CESA'96, Lille, France, pp. 127–136, Juillet 1996.
14. Khansa, W. "Réseaux de Petri P-temporels: contribution à l'étude des Systèmes à Evénements Discrets ". Thèse de Doctorat de l'Université de Savoie, France, mars 1997.